

Aus der Medizinischen Universitätsklinik Bern  
(Direktor: Prof. Dr. F. Wyss)  
Arbeit unter der Leitung von Prof. Dr. M. Scherrer

---

# Altersabhängigkeit des alveolo-arteriellen $O_2$ -Partialdruckgradienten bei Schwerarbeit in Normoxie, Hypoxie und Hyperoxie

## Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Bern

vorgelegt von

**Alfons Birchler**

von Einsiedeln SZ

1966



---

BASEL (Schweiz)

S. KARGER

NEW YORK

Von der Medizinischen Fakultät auf Antrag des  
Herrn Prof. Dr. M. Scherrer zum Druck als Dissertation genehmigt

---

Bern, den 3. November 1966  
Der Dekan der Medizinischen Fakultät:  
Prof. Dr. F. Escher

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit



Digitized by the Internet Archive  
in 2026



Die vorliegenden Resultate ergänzen eine kürzlich in dieser Zeitschrift erschienene Arbeit [13], welche bereits die Altersabhängigkeit der alveolo-arteriellen  $O_2$ -Partialdruckdifferenz ( $AaDO_2$ ) des Gesunden in Normoxie, Hypoxie und Hyperoxie zum Thema hatte. Im folgenden teilen wir ähnliche Ergebnisse mit, die aber nicht an flach liegenden, ruhenden, sondern an aufrecht sitzenden und ziemlich schwer arbeitenden gesunden Versuchspersonen gewonnen worden sind. Wir berechneten aus der in Normoxie, Hypoxie und Hyperoxie ermittelten  $AaDO_2$  die  $O_2$ -Diffusionskapazität sowie die venöse Beimischung durch Verteilungsstörung und vaskulären Kurzschluß. Unseres Wissens ist die Altersabhängigkeit der erwähnten Größen, insbesondere der Arbeits- $O_2$ -Diffusionskapazität, bisher einzig von COHN *et al.* [6] untersucht worden und dies an einer kleinen, inhomogenen Gruppe ausschließlich männlicher Versuchspersonen, welche viel weniger schwere Arbeit leisteten als unsere Probanden. Auch lassen sich die Ergebnisse von COHN *et al.* nicht mit den unsrigen vergleichen, weil die Autoren den Hyperoxiegradienten nicht berücksichtigten und für die Messung des Hypoxiegradienten sehr tiefe inspiratorische  $O_2$ -Konzentrationen von 11–14 ½ % verwendeten; wir begnügten uns in unseren Hypoxieversuchen hingegen mit 16–17 %  $O_2$  in der Einatemungsluft. Wir wollten damit vermeiden, daß die kapillären  $O_2$ -Werte allzu stark in den steilen, tiefen Bereich der Hb- $O_2$ -Dissoziationskurve rückten, denn andernfalls wäre das Lilienthalsche Annäherungsverfahren [16] zur Ermittlung der  $O_2$ -Diffusionskapazität nicht zulässig gewesen [28]. Mit der von uns gewählten, bescheidenen

Hypoxie – die einer akuten Verlegung der Versuchspersonen auf etwa 2700 m ü.M. gleichkam – konnte dem eben erwähnten Postulat wenigstens teilweise Rechnung getragen werden.

### Methodik

Als Versuchspersonen wählten wir junge Spitzensportler im Alter von etwa 20 Jahren aus der schweizerischen alpinen Olympia-Skimannschaft 1964<sup>3</sup>, neun Damen und zwölf Herren, sowie neun muskelstarke, körperlich ebenfalls gut trainierte, etwa 50jährige Krankenpfleger aus der Psychiatrischen Klinik der Universität Bern. Um die Resultate der jüngeren und älteren Versuchspersonen miteinander vergleichen zu können, haben wir darauf geachtet, auch in die Gruppe der Betagteren nur einheitlich gut trainierte Leute zu wählen, was mit der erwähnten Berufsgruppe in idealer Weise gelungen ist. Die umfassende klinische Untersuchung, die Thoraxaufnahme und das Elektrokardiogramm fielen bei allen Versuchspersonen normal aus. In Tabelle I und II sind Alter, Körpermaße und spirometrische Größen zusammengestellt.

Tabelle I. Körpermaße, Lungenfunktion und Blutdruck der älteren Probanden

| Protokollnummer | Initialen | Alter in Jahren | Geschlecht | Größe in cm | Gewicht in kg | Körperoberfläche in m <sup>2</sup> | Vitalkapazität in ml | in % des Sollwertes | Pneumometerwert in l/sec | in % des Sollwertes | Erst-Sekunden-Volumen in % der Vitalkapazität | Blutdruck in mm Hg |
|-----------------|-----------|-----------------|------------|-------------|---------------|------------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|--------------------|
| 7004/1          | W. R.     | 45              | m          | 169         | 73            | 1,83                               | 3810                 | 85                  | 7,6                      | 104                 | 70                                            | 130/90             |
| 6998/1          | B. E.     | 58              | m          | 177         | 73            | 1,90                               | 4970                 | 107                 | 10,8                     | 146                 | 78                                            | 150/90             |
| 7011/1          | S. C.     | 56              | m          | 169         | 79            | 1,89                               | 5900                 | 142                 | 9,2                      | 131                 | 75                                            | 120/70             |
| 7005/1          | K. F.     | 50              | m          | 173         | 72            | 1,85                               | 4660                 | 107                 | 8,8                      | 122                 | 70                                            | 140/90             |
| 7013/1          | M. H.     | 49              | m          | 173         | 95            | 2,09                               | 4190                 | 90                  | 6,8                      | 91                  | 63                                            | —                  |
| 7040/1          | M. W.     | 54              | m          | 182         | 86            | 2,08                               | 4830                 | 101                 | 8,4                      | 109                 | 66                                            | 130/85             |
| 7031/1          | J. F.     | 45              | m          | 183         | 69            | 1,89                               | 4610                 | 89                  | 7,0                      | 86                  | 62                                            | 130/80             |
| 7008/1          | G. M.     | 50              | m          | 171         | 86            | 1,98                               | 4640                 | 108                 | 8,9                      | 125                 | 75                                            | 150/90             |
| 7039/1          | B. H.     | 50              | m          | 178         | 72            | 1,89                               | 6200                 | 135                 | 8,0                      | 107                 | 63                                            | —                  |
| Mittelwerte     |           | 51              |            | 175         |               |                                    |                      | 107                 |                          | 113                 | 69                                            |                    |

Alle Versuche fanden vormittags, nach einem leichten Frühstück, in aufrecht sitzender Stellung statt. Nach einer Ruhepause von 10 min wurde die rechte A. brachialis in Lokalanästhesie punktiert und eine Verweilkanüle nach COURNAND eingelegt. Dann wurde die Versuchsperson über ein Mundstück an den Metabographen

<sup>3</sup> Dem damaligen Leiter der technischen Kommission des Schweizerischen Skiverbandes, Herrn HANS BRUNNER, Sekretär der ETS, Magglingen, sei an dieser Stelle für die freundliche Vermittlung bestens gedankt.

Tabelle II. Körpermaße und Lungenfunktion der jungen Versuchspersonen

| Protokollnummer | Initialen | Alter in Jahren | Geschlecht | Größe in cm | Gewicht in kg | Körperoberfläche in m <sup>2</sup> | Vitalkapazität in ml | in % des Sollwertes | Pneumometerwert in l/sec | in % des Sollwertes | Erst-Sekunden-Volumen in % der Vitalkapazität |
|-----------------|-----------|-----------------|------------|-------------|---------------|------------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|
| 6888/1          | G. F.     | 18              | w          | 169         | 62            | 1,70                               | 3900                 | 99                  | 8,2                      | 122                 | 85                                            |
| 6788/1          | O. Th.    | 19              | w          | 165         | 60            | 1,65                               | 3870                 | 101                 | 5,7                      | 88                  | 84                                            |
| 6986/1          | B. F.     | 17              | w          | 163         | 63            | 1,67                               | 2910                 | 80                  | 6,0                      | 94                  | 95                                            |
| 6831/1          | Z. S.     | 19              | w          | 159         | 59            | 1,59                               | 3820                 | 111                 | 7,2                      | 116                 | 92                                            |
| 6875/1          | F. M.     | 19              | w          | 168         | 62            | 1,69                               | 4240                 | 109                 | 6,7                      | 100                 | 84                                            |
| 6828/1          | A. R.     | 20              | w          | 162         | 55            | 1,56                               | 4100                 | 115                 | 5,7                      | 91                  | 79                                            |
| 6850/1          | O. H.     | 21              | w          | 169         | 70            | 1,83                               | 4500                 | 115                 | 6,8                      | 102                 | 76                                            |
| 6882/1          | W. M.     | 17              | w          | 167         | 61            | 1,67                               | 3400                 | 88                  | 7,7                      | 115                 | 91                                            |
| 6868/1          | L. R.     | 19              | w          | 167         | 60            | 1,66                               | 4720                 | 123                 | 7,9                      | 120                 | 90                                            |
| Mittelwerte     |           | 19              |            | 165         |               |                                    |                      | 104                 |                          | 105                 | 86                                            |
| 6863/1          | P. A.     | 22              | m          | 183         | 77            | 1,97                               | 5020                 | 87                  | 10,0                     | 114                 | 94                                            |
| 6981/1          | Z. B.     | 25              | m          | 176         | —             | —                                  | 6320                 | 116                 | 9,9                      | 118                 | 79                                            |
| 6790/1          | G. R.     | 25              | m          | 168         | 64            | 1,71                               | 4760                 | 96                  | 8,7                      | 110                 | 92                                            |
| 6789/1          | G. G.     | 26              | m          | 170         | 65            | 1,74                               | 5320                 | 105                 | 9,7                      | 121                 | 86                                            |
| 6791/1          | M. A.     | 25              | m          | 165         | 71            | 1,76                               | 5300                 | 110                 | 8,9                      | 115                 | 76                                            |
| 6836/1          | B. E.     | 20              | m          | 174         | 68            | 1,81                               | 5560                 | 105                 | 9,5                      | 114                 | 80                                            |
| 6858/1          | F. W.     | 20              | m          | 174         | 69            | 1,82                               | 5860                 | 111                 | 10,7                     | 130                 | 78                                            |
| 6983/1          | K. S.     | 21              | m          | 179         | 70            | 1,86                               | 5700                 | 103                 | 9,6                      | 113                 | 82                                            |
| 6875/1          | M. J.     | 22              | m          | 173         | 78            | 1,91                               | 6520                 | 107                 | 9,6                      | 117                 | 86                                            |
| 6792/1          | v A. B.   | 22              | m          | 176         | —             | —                                  | 5680                 | 105                 | 7,5                      | 89                  | 70                                            |
| 6842/1          | G. D.     | 22              | m          | 174         | 71            | 1,84                               | 4950                 | 94                  | 9,5                      | 114                 | 81                                            |
| 7003/1          | D. J.     | 18              | m          | 179         | 84            | 2,02                               | 6400                 | 92                  | 7,9                      | 114                 | 77                                            |
| Mittelwerte     |           | 22              |            | 174         |               |                                    |                      | 102                 |                          | 114                 | 82                                            |

von FLEISCH [10] angeschlossen, an welchem laufend Spirogramm, Atemminutenvolumen, O<sub>2</sub>-Aufnahme und CO<sub>2</sub>-Produktion registriert wurden. Der Metabograph ist ein geschlossenes Spirometer, in welchem praktisch keine Atemwiderstände vorkommen. Laufend wird die anfallende Kohlensäure vollständig absorbiert (auch bei Schwerarbeit) und das durch O<sub>2</sub>-Aufnahme entstandene Volumendefizit durch eine adäquate Zufuhr von Sauerstoff gedeckt. In der von uns verwendeten Apparatur [23] wird nicht das Volumen des Spirometersystems stabilisiert, sondern die N<sub>2</sub>-Konzentration, und zwar mit dem Nitrogenmeter von LUNDIN und ÅKESSON [17]. Dies hat den wesentlichen Vorteil, daß die sonst unvermeidlichen O<sub>2</sub>-Konzentrationschwankungen der Einatemungsluft auf ein Minimum reduziert werden und zudem der N<sub>2</sub>-, bzw. O<sub>2</sub>-Gehalt der Inspirationsluft jederzeit auf 0,1 Vol. % genau bekannt ist.

Besondere Sorgfalt verlegten wir auf die Auswahl der Belastungsstufe. Unser Bestreben ging dahin, die Versuchspersonen ziemlich schwere Tretarbeit am Fahrradergometer leisten zu lassen. Doch sollte die  $AaDO_2$  stets im respiratorischen Gleichgewicht gemessen werden. Möglichst schwere Belastungen, die eben noch im respiratorischen Gleichgewicht bewältigt werden, sind von Joss [14] als Stufe B bezeichnet worden. Es handelt sich um eine von Alter, Körpergröße, Geschlecht und Trainingszustand abhängige Wattstufe, die individuell stark variiert. Sie mußte denn auch für jede Versuchsperson in einem Vorversuch ermittelt werden. Für die drei Gruppen ergaben sich dabei folgende Werte der Anzahl Watt Belastung und des entsprechenden  $O_2$ -Verbrauchs:

20jährige Männer: 180–240 W (2,2–3,2 l/min)

20jährige Frauen: 120–170 W (1,5–2,2 l/min)

50jährige Männer: 100–160 W (1,3–2,2 l/min)

Die erste Blutentnahme erfolgte, als die Versuchsperson etwa 10 min auf dem Fahrradergometer aufrecht sitzend, aber stets ruhend, über den Metabographen geatmet hatte. Danach leisteten die Probanden eine 15–20 min dauernde erste Tretarbeit (60 Umdrehungen/min), bis sich das erstrebte respiratorische Gleichgewicht gebildet hatte und arterielles Blut für den ersten Arbeitsversuch (in Normoxie) entnommen werden konnte. Die Arbeitsversuche wurden dann je nach 20 min Pause in Hypoxie und Hyperoxie noch einmal durchgeführt, so daß die Arbeits- $AaDO_2$  insgesamt dreimal zur Messung gelangte. Das  $O_2$ - $N_2$ -Gemisch wies bei den drei Versuchen folgende Zusammensetzung auf:

|                     | $O_2$ -Gehalt<br>(Vol. %) | $N_2$ -Gehalt<br>(Vol. %) |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Normoxie . . . . .  | 21                        | 79                        |
| Hypoxie . . . . .   | 16–17                     | 83–84                     |
| Hyperoxie . . . . . | 91–95                     | 5– 9                      |

Die alveoläre  $O_2$ -Spannung wurde mit der Alveolarluftformel von FENN, RAHN und OTIS [8] aus der  $O_2$ -Konzentration der Einatemungsluft, dem respiratorischen Quotienten und der alveolären  $CO_2$ -Spannung berechnet. Die  $O_2$ -Konzentration der Einatemungsluft konnte am Nitrogenmeter von LUNDIN und ÅKESSON, der respiratorische Quotient am Metabographen von FLEISCH abgelesen werden. An Stelle der alveolären Kohlensäurespannung wurde die arterielle in die Alveolarluftformel eingesetzt: wir bestimmten sie aus pH (Messung im Vollblut bei 37,0°) und  $CO_2$ -Gehalt des arteriellen Plasmas mit Hilfe der Henderson-Hasselbalchschen Formel.

Die Blutgasanalyse umfaßte außer der Ermittlung der arteriellen  $CO_2$ -Spannung auch die Bestimmung des arteriellen  $O_2$ -Gehaltes und der  $O_2$ -Kapazität nach der manometrischen Methode von VAN SLYKE und NEILL sowie die polarographische Messung der arteriellen  $O_2$ -Spannung mit einer eigens modifizierten Platinelektrode bei 37,0° C (5,25).

Nach einer an anderer Stelle eingehend beschriebenen Methode [24] wurden aus der Hyperoxie- $AaDO_2$  die venöse Beimischung durch vaskulären Kurzschluß, aus der auf den Shunt korrigierten Normoxie-, bzw. Hypoxie- $AaDO_2$  die venöse Bei-

mischung durch Verteilungsstörung und die  $O_2$ -Diffusionskapazität berechnet. Der  $O_2$ -Gehalt des venösen Mischblutes wurde nicht gemessen, sondern geschätzt; die arterio-venöse Differenz des  $O_2$ -Gehaltes beträgt in Ruhe etwa 5 Vol. %. Für 100 ml  $O_2$ -Mehraufnahme während Arbeit haben wir die arterio-venöse  $O_2$ -Gehaltdifferenz um 0,4 Vol. % erhöht (LEQUIME und DENOLIN [15]). Das daraus errechnete, hypothetische Arbeits-Herzminutenvolumen stimmt mit dem neulich von ÅSTRAND *et al.* [2] bei jungen Studenten mit der Farbstoffverdünnungsmethode während Schwerarbeit bestimmten gut überein: Im Vergleich zu den von ÅSTRAND *et al.* gemessenen Herzminutenvolumina sind die von uns angenommenen um 1 bis 2 l zu hoch. Wir haben die  $O_2$ -Werte des venösen Mischblutes darnach vielleicht eher etwas überschätzt, was indessen für die Berechnung der Diffusionskapazität und der venösen Beimischung nicht störend ins Gewicht fällt.

In Tabelle III sind die im folgenden verwendeten Abkürzungen und Symbole zusammengefaßt. Alle Gasvolumina sind in STPD, alle Lungenvolumina in BTPS-Bedingungen angegeben. Zur statistischen Beurteilung sind Mittelwert und Standarddeviation tabellarisch aufgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem t-Test. Als gesichert erachteten wir Mittelwertsunterschiede, bei welchen p kleiner als 5 % war.

Tabelle III. Symbole und Abkürzungen

|              |                           |                      |                                           |
|--------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| x            | Mittelwert                | Hb                   | Hämoglobingehalt                          |
| S            | Standarddeviation         | pCO <sub>2</sub> art | arterieller CO <sub>2</sub> -Partialdruck |
| $\dot{V}O_2$ | $O_2$ -Verbrauch          | SO <sub>2</sub> art  | arterielle $O_2$ -Sättigung               |
| AMV          | Atemminutenvolumen        | pO <sub>2</sub> alv  | alveolärer $O_2$ -Partialdruck            |
| AV           | Atemvolumen               | pO <sub>2</sub> art  | arterieller $O_2$ -Partialdruck           |
| AE           | Atemäquivalent            | AaDO <sub>2</sub>    | alveolo-arterieller                       |
| f.TR         | funktioneller Totraum     |                      | $O_2$ -Partialdruckgradient               |
| R            | respiratorischer Quotient |                      |                                           |

### Resultate

In Tabelle IV und V sind Mittelwert und Standardabweichung sämtlicher Ergebnisse der drei Gruppen – junge Männer (Skifahrer), junge Frauen (Skifahrerinnen) und ältere Männer (Krankenpfleger) – zusammenfassend dargestellt. Abb. 1 zeigt die in Ruhe und bei den verschiedenen Arbeitsversuchen gefundenen AaDO<sub>2</sub> als Säulen.

#### I. Vorversuch in Ruhe, aufrecht sitzend

Das Atemminutenvolumen aller Versuchspersonen war größer als dasjenige ruhender, flach liegender Probanden [13]; dasselbe gilt für den funktionellen Totraum und die alveoläre Ventilation. Die arterielle CO<sub>2</sub>-Spannung ist in der Tat beim aufrecht Sitzenden niedriger als beim flach Liegenden, die arterielle  $O_2$ -Sättigung entsprechend höher. Niedrige CO<sub>2</sub>-Spannung und hoher respiratorischer Quotient gehen beim aufrecht Sitzenden (im Vergleich zum flach Liegenden)



Tabelle V. Abgeleitete Größen (X = Mittelwert und S = Standarddeviation)

|                                               |   | 20j. Frauen | 20j. Männer | 50j. Männer |
|-----------------------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|
| Venöse Beimischung durch                      |   |             |             |             |
| vaskulären Kurzschluß . . . .                 | X | 0,66        | 0,73        | 0,74        |
| (in % des Herzminuten-                        | S | $\pm 1,89$  | $\pm 1,56$  | $\pm 0,67$  |
| volumens)                                     |   |             |             |             |
| Venöse Beimischung durch                      |   |             |             |             |
| Verteilungsstörung . . . . .                  | X | 1,85        | 2,14        | 3,57        |
| (in % des Herzminuten-                        | S | $\pm 1,73$  | $\pm 1,46$  | $\pm 3,90$  |
| volumens)                                     |   |             |             |             |
| Alveolo-endkapillärer                         |   |             |             |             |
| pO <sub>2</sub> -Gradient in Hypoxie . . . .  | X | 3,66        | 2,70        | 14,7        |
| (in mm Hg)                                    |   |             |             |             |
| O <sub>2</sub> -Diffusionskapazität . . . . . |   |             |             |             |
| (in ml/min mm Hg)                             | X | 78,4        | 120,7       | 51,9        |
|                                               | S | $\pm 15,5$  | $\pm 26,8$  | $\pm 9,0$   |
| Alveolo-mittelkapillärer                      |   |             |             |             |
| pO <sub>2</sub> -Gradient . . . . .           | X | 24,3        | 22,8        | 36,0        |
| (in mm Hg)                                    | S | $\pm 3,8$   | $\pm 5,1$   | $\pm 5,0$   |

auch mit einer höheren alveolären O<sub>2</sub>-Spannung einher. Da bei den jungen Probanden der arterielle O<sub>2</sub>-Partialdruck ebenfalls entsprechend höher liegt, scheint die AaDO<sub>2</sub> bei jungen Leuten in der gleichen Größenordnung zu sein, unabhängig davon, ob aufrecht sitzend oder flach liegend untersucht wird. Bei den 50jährigen Krankenpflegern, die aufrecht saßen, ist die AaDO<sub>2</sub> 8 mm Hg niedriger als bei den 70jährigen flach liegenden Greisen, die wir früher untersucht hatten [13]. Der Altersunterschied allein könnte diesen Befund erklären.

Vergleichen wir unsere Gruppen untereinander, so zeigt sich, daß die 20jährigen jungen Damen weniger stark hyperventilierten als die Männer. Weiterhin sei die Aufmerksamkeit auf die bedeutend niedrigeren arteriellen O<sub>2</sub>-Partialdrucke der 50jährigen gelenkt. Die Ruhe-AaDO<sub>2</sub> ist bei ihnen mit durchschnittlich 23 mm Hg statistisch sicher größer als bei den Jungen, deren AaDO<sub>2</sub> 4,5 mm Hg betrug. Damit bestätigt sich auch beim aufrecht Sitzenden die starke Altersabhängigkeit der Ruhe-AaDO<sub>2</sub>.

## II. Arbeitsversuche

Es sei vorweggenommen, daß sich die Resultate der jungen Frauen und der jungen Männer statistisch nicht voneinander unterscheiden, wenn man von den durch die verschieden schwere Belastung erzeugten Differenzen in Metabolismus und Ventilationsgröße absieht.

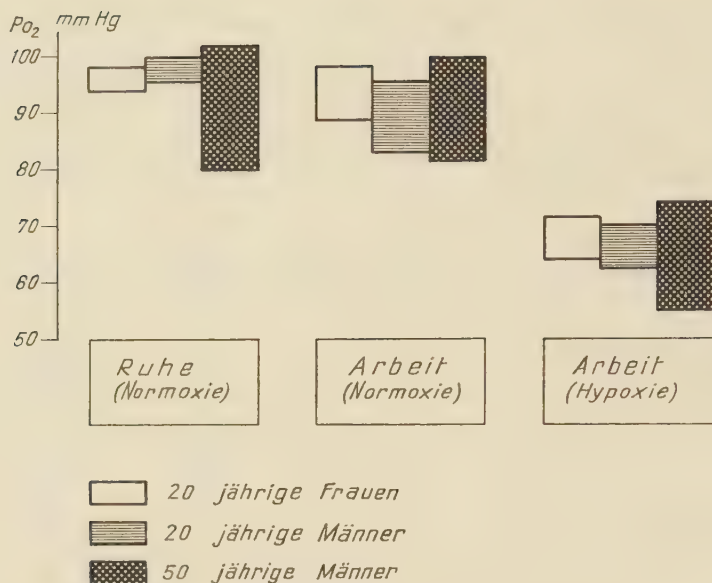


Abb. 1. AaDO<sub>2</sub> in Ruhe und bei schwerer Arbeit in Normoxie und Hypoxie.

1. *Normoxieversuch.* Der O<sub>2</sub>-Verbrauch steigt von Ruhewerten um 250–350 ml/min im Arbeitsversuch auf 1,5–3,2 l/min. Dementsprechend nimmt auch das Atemminutenvolumen bei gleich bleibendem Atemäquivalent zu. Das pH im arteriellen Blut fällt bei allen Gruppen statistisch sicher ab; da die arterielle CO<sub>2</sub>-Spannung im Arbeitsversuch nur unbedeutend ansteigt, ist die Azidose auf eine Anhäufung fixer Säuren im Blut zurückzuführen.

Die alveolären O<sub>2</sub>-Werte sind gegenüber dem Ruhewert bei allen Probanden ungefähr gleich geblieben. Die arteriellen O<sub>2</sub>-Partialdrucke dagegen fielen bei den Jungen ab und stiegen bei den 50jährigen an. Demzufolge beobachteten wir bei den Jungen eine Zunahme der AaDO<sub>2</sub> von 4,5 auf 9,1 und 12,4 mm Hg, bei den älteren Probanden dagegen eine Abnahme von 23 auf 17,8 mm Hg. Die in Ruhe gefundene eindeutige Altersabhängigkeit der AaDO<sub>2</sub> verschwindet somit bei Schwerarbeit in Normoxie; sie läßt sich jedenfalls nicht mehr nachweisen, wenn man die Resultate statistisch verwertet.

2. *Hypoxieversuch.* Bei gleichbleibendem O<sub>2</sub>-Verbrauch nehmen Atemminutenvolumen und Atemäquivalent gegenüber Normoxie durchwegs deutlich zu. Auf die arterielle CO<sub>2</sub>-Spannung wirkt sich die hypoxische Ventilationssteigerung als Rückgang um 4 mm Hg aus,

so daß die metabolische Azidose in Hypoxie respiratorisch besser kompensiert wird als in Normoxie.

Die Herabsetzung der  $O_2$ -Konzentration in der Einatemungsluft wirkt sich weiterhin entsprechend der gewählten Hypoxie auf die alveoläre und arterielle  $O_2$ -Spannung aus, die beide stark abfallen. Dieser  $O_2$ -Spannungsrückgang erfolgt für die Alveolarluft bei allen Versuchsgruppen etwa in gleichem Umfange, für das arterielle Blut hingegen ist er bei den 50jährigen statistisch sicher größer als bei den 20jährigen. Die  $AaDO_2$  nimmt also bei den älteren Probanden gegenüber Normoxie zu (sie steigt von 17,8 auf 19,2 mm Hg), wohingegen sie bei den Jungen deutlich kleiner wird (sie sinkt von 9,1 und 12,4 auf 8,2 und 7,3 mm Hg). Die Arbeits- $AaDO_2$  erweist sich im Hypoxieversuch wiederum eindeutig altersabhängig; sie ist – im Gegensatz zur Normoxie – in Hypoxie bei den älteren Probanden statistisch sicher größer als bei den Jüngeren.

3. *Hyperoxieversuch.* Im Hyperoxieversuch bleibt der  $O_2$ -Verbrauch gegenüber Normoxie und Hypoxie unverändert. Das Atemminutenvolumen liegt hingegen deutlich unter dem in Normoxie gemessenen Wert. Mit der Abnahme des Atemminutenvolumens geht ein Anstieg der arteriellen  $CO_2$ -Spannung einher; der respiratorische Quotient wird kleiner als in Normoxie. Die metabolische Azidose ist nicht oder kaum mehr nachzuweisen.

Die alveoläre  $O_2$ -Spannung bewegt sich gemäß der gewählten inspiratorischen  $O_2$ -Konzentration um 580 mm Hg. Der arterielle  $O_2$ -Partialdruck liegt bei den schwer belasteten jungen Männern um 40 mm Hg, bei den leichter belasteten Skifahrerinnen und Krankenpflegern um 26 mm Hg tiefer. Die  $AaDO_2$  hängt somit in Hyperoxie in erster Linie vom Belastungsgrad ab; sie erweist sich durchwegs als bedeutend größer als in Normoxie. Die Werte sind auch gegenüber Null statistisch eindeutig verschieden (im Gegensatz zu denjenigen, die bei jungen Leuten im Ruhe-Hyperoxieversuch mit der gleichen Methode gefunden worden sind [13]). Indessen ist eine Altersabhängigkeit der Hyperoxie- $AaDO_2$  bei Schwerarbeit nicht zu erkennen.

4. *Errechnete Werte.* Wir fanden für alle drei Gruppen eine venöse Beimischung durch vaskulären Kurzschluß von 0,7 % des Herzminutenvolumens. Die durch Verteilungsstörung hervorgerufene venöse Beimischung beträgt bei 50jährigen 3,5 % des Herzminutenvolumens und ist beinahe doppelt so groß wie jene der jungen Probanden (2 %). Für junge Versuchspersonen unterscheidet sich die venöse Beimischung durch Verteilungsstörung bei Schwerarbeit nicht

von jener, die in Ruhe beobachtet worden war [13]; hingegen beträgt die durch Kurzschluß und Verteilungsstörung erzeugte venöse Beimischung beim ruhenden 70jährigen Greisen [13] ein Vielfaches derjenigen der 50jährigen schwer arbeitenden Krankenpfleger.

Bei allen Probanden ergab sich im Hypoxieversuch eine alveolo-endkapilläre (also auf Kurzschluß und Verteilungsstörung bereinigte)  $O_2$ -Partialdruckdifferenz. Die Einzelwerte bewegen sich für die Jungen zwischen 1 und 9 mm Hg (im Mittel bei den Männern 2,7 und bei den Frauen 3,7 mm Hg), für die Krankenpfleger schwanken die alveolo-endkapillären Hypoxie-Gradienten zwischen 5 und 21 mm Hg (im Mittel 14,3 mm Hg). Dieser gewaltige Unterschied im rein diffusionsbedingten, alveolo-endkapillären  $O_2$ -Gefälle der beiden Altersklassen ist statistisch gesichert. Die alveolo-endkapilläre Hypoxie- $O_2$ -Partialdruckdifferenz ist bei den schwer arbeitenden Versuchspersonen meist bedeutend größer gefunden worden als beim ruhenden Gesunden [13]; es war daher ohne Inkaufnahme von größeren Feh-

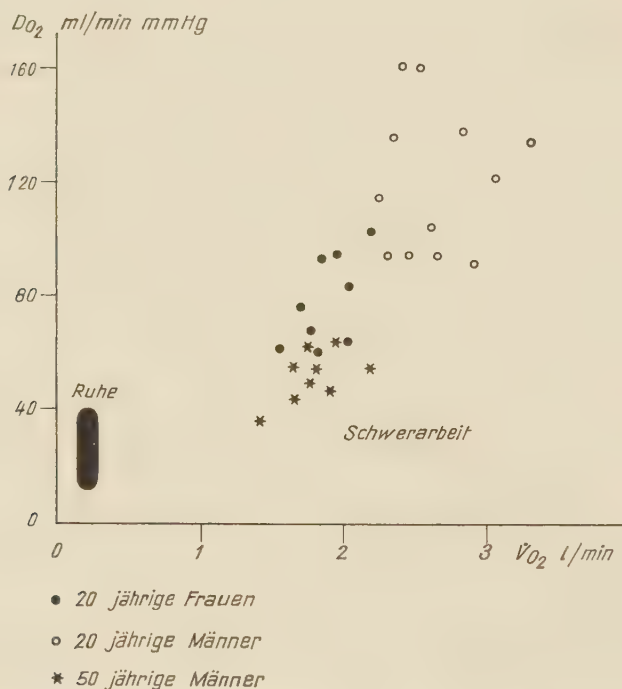


Abb. 2. Ruhe- und Arbeits- $O_2$ -Diffusionskapazität ( $DO_2$ ) in Abhängigkeit des  $O_2$ -Verbrauches ( $\dot{V}O_2$ ).

lern auch möglich, durch Bohrsche Integration die Arbeits-O<sub>2</sub>-Diffusionskapazität zu berechnen. Die Ergebnisse sind in Abb. 2 in Abhängigkeit des O<sub>2</sub>-Verbrauchs eingezeichnet. Die Arbeits-O<sub>2</sub>-Diffusionskapazität ist für alle drei Gruppen statistisch sicher verschieden ausgefallen. Weitaus die höchsten Werte weisen die jungen Herren mit 90 bis 161 (im Mittel 120) auf; dann folgen die Damen mit Einzelwerten zwischen 61 und 103 (im Mittel 78) und schließlich die älteren Probanden mit Werten zwischen 35 und 63 ml/min mm Hg (im Mittel 52 ml/min mm Hg). Da die Diffusionskapazität der Lunge in erster Linie von der Intensität des Gasstoffwechsels abhängt, versteht man, daß die am schwersten belasteten jungen Männer die höchsten Werte aufweisen. Ein vom Metabolismus weniger stark abhängiges Maß für den Widerstand, dem die O<sub>2</sub>-Moleküle bei der Aufnahme ins Lungenkapillarblut begegnen, stellt der alveolo-mittelkapilläre O<sub>2</sub>-Partialdruckgradient (Diffusionsgradient) dar. Er beträgt für die jungen männlichen und weiblichen Versuchspersonen mit 23 und 24 mm Hg etwa gleich viel; bei den älteren Krankenpflegern jedoch ist er mit 36 mm Hg statistisch sicher bedeutend größer. Er unterscheidet sich statistisch auch für jung und alt von dem in Ruhe gefundenen viel kleineren O<sub>2</sub>-Diffusionsgradienten [13].

### *Diskussion*

Die von anderen Autoren in Ruhe und bei Arbeit in Normoxie gemessenen alveolären und arteriellen O<sub>2</sub>-Spannungen sind in Tabelle VI unseren eigenen Resultaten gegenübergestellt. Mit Ausnahme der Untersuchungen von ULMER und REICHEL [31] sowie von WORTH *et al.* [32] handelt es sich ausschließlich um Messungen an jungen Versuchspersonen oder inhomogenen Altersgruppen, was einen Vergleich mit den vorliegenden Ergebnissen erschwert. Zudem sind die Resultate anderer Autoren je nach Methode, Körperstellung, Versuchsanordnung und Meereshöhe recht verschieden. Die meisten Autoren sind sich darüber einig, daß bei jungen Versuchspersonen der O<sub>2</sub>-Partialdruck im arteriellen Blut unter Belastung etwas absinkt: LILIENTHAL *et al.* [16], SUSKIND *et al.* [29], FILLEY *et al.* [9], ULMER und REICHEL [31]; ein Anstieg ist einzig von GALDSTON und WOLLACK [11] sowie BARTELS *et al.* [3] gesehen worden. Einen leichten Rückgang der arteriellen O<sub>2</sub>-Spannung bei mittelschwerer Belastung und einen Wiederanstieg bei Schwerarbeit hat SCHERRER [26] beschrieben. Die interessante Tatsache, daß im schweren Ar-

*Tabelle VI. pO<sub>2</sub>alv, pO<sub>2</sub>art und AaDO<sub>2</sub> in Ruhe und bei leichter und schwerer Arbeit in Normoxie*

| Autoren                     | Anzahl | Alter   | Ruhe                | Leichte Arbeit<br>(bis 100 Watt;<br>VO <sub>2</sub> bis 1,2 l/min ) |                   |                      | Schwere Arbeit<br>(über 100 Watt;<br>VO <sub>2</sub> über 1,2 l/min) |                   |                     |                      |                   |
|-----------------------------|--------|---------|---------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
|                             |        |         | pO <sub>2</sub> alv | pO <sub>2</sub> art.                                                | AaDO <sub>2</sub> | pO <sub>2</sub> alv. | pO <sub>2</sub> art.                                                 | AaDO <sub>2</sub> | pO <sub>2</sub> alv | pO <sub>2</sub> art. | AaDO <sub>2</sub> |
| Lilienthal et al. [1946]    | 6      | < 40j.  | 103,5               | 94,5                                                                | 9,0               | 105,4                | 88,9                                                                 | 16,5              | —                   | —                    | —                 |
| Galdston und Wollack [1947] | 9      | < 40j.  | 98,0                | 97,0                                                                | 1,0               | 115,0                | 110,0                                                                | 5,0               | —                   | —                    | —                 |
| Suskind et al. [1950]       | 10     | 22-37j. | 107,0               | 98,0                                                                | 9,0               | 95,0                 | 88,0                                                                 | 7,0               | —                   | —                    | —                 |
| Filley et al. [1954]        | 34     | 23-60j. | 94,8                | 85,1                                                                | 9,7               | 102,1                | 82,5                                                                 | 19,6              | —                   | —                    | —                 |
| Bartels et al. [1955]       | 14     | 20-33j. | 96,0                | 89,1                                                                | 6,9               | —                    | —                                                                    | —                 | 101,7               | 91,6                 | 10,1              |
| Asmussen und Nielsen [1960] | 18     | < 40j.  | 104,6               | 87,6                                                                | 17,0              | —                    | —                                                                    | —                 | 104,7               | 84,7                 | 20,0              |
| Ulmer und Reichel [1963]    | 28     | < 30j.  | 90,9                | —                                                                   | —                 | —                    | —                                                                    | —                 | 89,0                | —                    | —                 |
|                             | 16     | 30-40j. | 88,9                | —                                                                   | —                 | —                    | —                                                                    | —                 | 84,0                | —                    | —                 |
|                             | 18     | 40-50j. | 86,5                | —                                                                   | —                 | —                    | —                                                                    | —                 | 83,3                | —                    | —                 |
|                             | 16     | 50-60j. | 80,0                | —                                                                   | —                 | —                    | —                                                                    | —                 | 84,3                | —                    | —                 |
|                             | 10     | > 60j.  | 79,0                | —                                                                   | —                 | —                    | —                                                                    | —                 | 80,0                | —                    | —                 |
| Worth et al. [1963]         | 17     | 20-30j. | 103,5               | 90,0                                                                | 13,5              | —                    | —                                                                    | —                 | 99,0                | 91,5                 | 7,5               |
|                             | 39     | 40-60j. | 104,0               | 88,0                                                                | 16,0              | —                    | —                                                                    | —                 | 105,9               | 86,6                 | 19,3              |
| Scherrer [1964]             | 9      | < 40j.  | 92,1                | 90,0                                                                | 2,1               | 90,7                 | 86,7                                                                 | 4,0               | 98,7                | 89,7                 | 9,0               |
| Eigene Werte [1966]         | 9      | 17-21j. | 98,1                | 93,6                                                                | 4,5               | —                    | —                                                                    | —                 | 98,3                | 89,2                 | 9,1               |
|                             | 12     | 20-26j. | 100,2               | 95,7                                                                | 4,5               | —                    | —                                                                    | —                 | 95,6                | 83,6                 | 12,4              |
|                             | 9      | 45-58j. | 102,8               | 79,8                                                                | 23,0              | —                    | —                                                                    | —                 | 99,6                | 81,8                 | 17,8              |

beitsversuch in Normoxie die Altersabhängigkeit der  $AaDO_2$  weitgehend verschwinden kann (Abb. 1), ist bisher nicht beobachtet worden. Sie ist vorwiegend auf das bei alt und jung unterschiedliche Verhalten der arteriellen  $O_2$ -Spannung – Rückgang bei den Jungen, Anstieg bei den Alten – zurückzuführen. Unsere Befunde lassen sich diesbezüglich vielleicht am besten mit denjenigen von ULMER und REICHEL [31] vergleichen, während WORTH *et al.* [32] auch im Arbeitsversuch eine deutliche Altersabhängigkeit der  $AaDO_2$  feststellten.

Der Einfluß der  $O_2$ -Konzentration auf die Arbeits- $AaDO_2$  ist von LILIENTHAL *et al.* [16] und von ASMUSSEN und NIELSEN [1] überprüft worden. Während ASMUSSEN und NIELSEN in Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen an *jungen* Versuchspersonen in Hypoxie über einen Rückgang des Gradienten berichteten, fanden LILIENTHAL *et al.* die  $AaDO_2$  in Normoxie und Hypoxie gleich, COHN *et al.* [6] bei alt und jung größer, wobei diese von unseren Befunden abweichenden Ergebnisse vielleicht auf die von den Autoren verwendete, viel tiefere Hypoxie und auf die weniger schwer gewählte Belastung zurückzuführen sind.

Als Erklärung für den von uns in Hypoxie festgestellten stärkeren Rückgang der arteriellen  $O_2$ -Spannung bei betagten Probanden im Vergleich zu Jungen ist das Auftreten eines alveolo-endkapillären, diffusionsbedingten  $O_2$ -Gradienten heranzuziehen. In der Tat kann sich der Kurzschluß- oder Verteilungs-bedingte  $O_2$ -Gradient in Hypoxie nicht vergrößern, sondern es ist im Gegenteil mit seiner Abnahme zu rechnen (LILIENTHAL *et al.* [16]). Das Bestehen eines unter hypoxischen Bedingungen meßbaren alveolo-endkapillären  $O_2$ -Gradienten ist von ASMUSSEN und NIELSEN [1] bezweifelt worden. Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, daß die eben erwähnten beiden Autoren ihre Messungen ausschließlich an jungen Leuten durchführten. In gleicher Weise haben wir bei jungen Versuchspersonen eine deutliche Abnahme der  $AaDO_2$  in Hypoxie beobachtet, so daß der alveolo-endkapilläre  $O_2$ -Gradient auch bei unseren jungen Probanden zum Teil recht klein und kaum meßbar wird. Für die älteren Versuchspersonen dagegen sind die alveolo-endkapillären  $O_2$ -Gradienten bedeutend höher zu veranschlagen, so daß wir die Arbeits- $O_2$ -Diffusionskapazität – in Übereinstimmung mit COHN *et al.* [6], RILEY *et al.* [21], SHEPARD *et al.* [27] und TURINO *et al.* [30] – berechnen können. Alle Autoren verzeichnen – wie wir – bei Arbeit viel höhere  $O_2$ -Diffusionskapazitäten als in Ruhe. So hohe Werte, wie wir

sie bei den jungen Sportsleuten ermittelt haben, sind unseres Wissens nie mitgeteilt worden. Die von TURINO *et al.* [30] angegebenen Höchstwerte lagen um 100, diejenigen von COHN *et al.* [6] um 80, diejenigen von RILEY *et al.* [21] um 70 und diejenigen von SHEPARD *et al.* [27] um 40 ml/min mm Hg. Wir erklären dies damit, daß unsere gut trainierten Probanden besonders schwer belastet werden konnten. Auch ist bei Spitzensportlern die Arbeits-CO-Diffusionskapazität etwas größer gefunden worden als beim Nichtsportler (MOSTYN *et al.* [19]); noch andere Messungen mit der CO-Methode zeigen allerdings deutlich – im Gegensatz zu den eben erwähnten –, daß das körperliche Training die Arbeitsdiffusionskapazität – bei stets gleichem O<sub>2</sub>-Verbrauch – nicht wesentlich beeinflußt (NEWMAN *et al.* [20]). Aus Abb. 2 geht hervor, daß bei Gleichaltrigen die Diffusionskapazität mit dem Sauerstoffverbrauch ungefähr linear ansteigt. Die im Vergleich zu 20jährigen Männern deutlich niedrigere O<sub>2</sub>-Diffusionskapazität von 20jährigen Frauen darf man daher nicht als geschlechtsgebundenen Unterschied beurteilen. Er muß ausschließlich auf die geringere Belastung und den niedrigeren O<sub>2</sub>-Verbrauch der Frauen zurückgeführt werden, was sich an dem bei allen 20jährigen etwa gleich großen alveolo-mittelkapillären O<sub>2</sub>-Gradienten deutlich zeigt. Bei den 50-jährigen hingegen ist die Diffusionskapazität nicht nur wegen des geringeren O<sub>2</sub>-Verbrauches, sondern vor allem wegen des viel größeren O<sub>2</sub>-Diffusionsgradienten niedriger ausgefallen, so daß eine hochgradige Altersabhängigkeit der Arbeits-O<sub>2</sub>-Diffusionskapazität angenommen werden muß. Wir bestätigen insofern die Ergebnisse von COHN *et al.* [6] sowie all jener Autoren, die mit der CO-Methode eine Altersabhängigkeit der Arbeits-Diffusionskapazität gefunden haben (DONEVAN *et al.* [7], HAMER [12], BILLIET *et al.* [4] u. a.).

Abschließend sei noch die in Normoxie bei Schwerarbeit beobachtete Zunahme der AaDO<sub>2</sub> von jungen Leuten, die Abnahme derjenigen von älteren Leuten, gegenüber der Ruhe AaDO<sub>2</sub>, erläutert (Abb. 1). Nehmen wir die Ergebnisse der Jugendlichen vorweg. Wir haben festgestellt, daß sich die venöse Beimischung im Vergleich zum Ruhewert bei Schwerarbeit nicht verändert und daß die Arbeits-O<sub>2</sub>-Diffusionskapazität so stark ansteigt, daß in Normoxie bei Jungen kein alveolo-endkapillärer (diffusionsbedingter) O<sub>2</sub>-Gradient angenommen werden kann. Somit nimmt die AaDO<sub>2</sub> nur deshalb zu, weil die kleine Menge beimischenden Venenblutes bei Schwerarbeit viel tiefer gesättigt ist als in Ruhe. Ganz anders lautet indessen die Erklärung für das Verhalten der AaDO<sub>2</sub> bei älteren Probanden. Ihre

Abnahme beruht auf der Rückbildung der normalerweise am ruhenden Greisen festgestellten, sehr beträchtlichen Beimischung von venösem Blut durch Verteilungsstörung [13]. Die durch diese Rückbildung erzeugte, zunächst erhebliche Abnahme der  $AaDO_2$  wird allerdings durch zwei Faktoren teilweise wieder rückgängig gemacht, erstens wiederum durch die viel tiefere  $O_2$ -Sättigung des immer noch in kleinen Mengen beimischenden Venenblutes und zweitens durch den bei den älteren Probanden wahrscheinlich auch in Normoxie bestehenden, zusätzlichen – wenn auch minimen – diffusionsbedingten alveolo-endkapillären  $O_2$ -Gradienten. Mit aller Deutlichkeit zeigen unsere Ergebnisse zusammenfassend, daß aus der vergleichenden Beurteilung der  $AaDO_2$  in Ruhe und bei Arbeit – entgegen der Auffassung anderer Autoren (ROSSIER *et al.* [22], MATTHES und HERBERG [18]) – keine Rückschlüsse auf ihre ursächlichen Komponenten gezogen werden dürfen. Nur die vergleichende Beurteilung der  $AaDO_2$  in Normoxie, Hypoxie und Hyperoxie ermöglicht eine einigermaßen zuverlässige Differenzierung in Kurzschluß-, Verteilungs- und Diffusionsgradienten.

### *Zusammenfassung*

Der alveolo-arterielle  $O_2$ -Partialdruckgradient ( $AaDO_2$ ) wurde bei gesunden, aufrecht sitzenden Versuchspersonen – neun Sportlerinnen und zwölf Sportlern im Alter von 17 bis 26 Jahren sowie neun sehr kräftigen Krankenpflegern im Alter von 45 bis 58 Jahren – in Ruhe und während ziemlich schwerer Arbeit bestimmt. Außer Zimmerluft wurde im Arbeitsversuch auch ein hypoxisches (16 bis 17 %  $O_2$ ) und ein hyperoxisches Gemisch (92 bis 95 %  $O_2$ ) eingeatmet. Die venöse Beimischung und die  $O_2$ -Diffusionskapazität wurden berechnet. Bei den jungen Versuchspersonen betrug die Ruhe- $AaDO_2$  4,5, bei den älteren 23 mm Hg. Im Arbeitsversuch betrug die  $AaDO_2$  in Normoxie bei den jungen Frauen 9,1 und bei den jungen Männern 12,4, bei den älteren Probanden 17,8 mm Hg; in Hypoxie sank sie auf 8,2 und 7,3 bei den Jungen, hingegen stieg sie auf 19,2 bei den Älteren; in Hyperoxie betrugen die Werte 39,5 bei den jungen Männern und 26,7 bei den Frauen, ferner 29,0 bei den 50jährigen Krankenpflegern. Die venöse Beimischung durch vaskulären Kurzschluß ist mit etwa 0,7 % des Herzminutenvolumens bei allen drei Gruppen gleich groß, die Beimischung durch Verteilungsstörung hingegen ist bei den 50jährigen mit 3,5 % fast doppelt so groß wie bei den 20jährigen (2 %). Die Arbeits- $O_2$ -Diffusionskapazität betrug bei den jungen Sportlern im

Mittel 120 ( $\text{O}_2$ -Verbrauch 2,6 l/min), bei den jungen Sportlerinnen 78 ( $\text{O}_2$ -Verbrauch 1,8 l/min) und bei den Krankenpflegern 52 ml/min mm Hg ( $\text{O}_2$ -Verbrauch 1,8 l/min). Die Versuchspersonen wiesen in Hypoxie einen meßbaren alveolo-endkapillären  $\text{O}_2$ -Gradienten auf, der bei den älteren Probanden mit 14,7 statistisch bedeutend größer gefunden worden ist als bei den jungen (3,6 bei den Frauen und 2,7 bei den Männern), was als Hinweis auf die starke Altersabhängigkeit der Arbeits- $\text{O}_2$ -Diffusionskapazität der Lunge gewertet werden muß.

### *Summary*

The alveolo-arterial oxygen pressure difference ( $\text{AaDO}_2$ ) was measured at rest and during hard work in healthy persons, sitting upright on a bicycle ergometer. One group was formed with nine female, one other group with twelve male athletes aging 17 to 26 years and a third group with nine well trained male nurses aging 45 to 58 years. During exercise, three mixtures (16 to 17 %  $\text{O}_2$ , 21 %  $\text{O}_2$  and 92 to 95 %  $\text{O}_2$  respectively) were inspired. The  $\text{AaDO}_2$  was measured each time during a steady state. The venous admixture due to shunt and distribution effects and the oxygen diffusing capacity were calculated. At rest, the  $\text{AaDO}_2$  of young people was found to be 4.5, that of the older age group 23 mm Hg. At hard work, the normoxia- $\text{AaDO}_2$  of young females was 9.1, that of young males 12.4, that of older males 17.8 mm Hg. The hypoxia- $\text{AaDO}_2$  at hard work decreased in young people to 8.2 and 7.3, in older people it increased to 19.2 mm Hg. The hyperoxia- $\text{AaDO}_2$  was 39.5 mm Hg in young males, 26.7 mm Hg in young females and 29 mm Hg in the 50-year-old men. Venous admixture due to anatomical shunt amounted in all three groups to 0.7 % of the cardiac output. Venous admixture due to distribution effects was found to be 3.5 % in the old age group, 2 % in the young age groups. The oxygen diffusing capacity of the lung was estimated in young men to be 120 ( $\dot{V}\text{O}_2 = 2.6$  l/min), in young women 78 ( $\dot{V}\text{O}_2 = 1.8$  l/min) and in older men 52 ml/min · mm Hg ( $\dot{V}\text{O}_2 = 1.8$  l/min). All persons had a measurable alveolo-endcapillary hypoxia- $\text{pO}_2$ -gradient. In older people it was found to be 14.7 mm Hg; this value was significantly higher than those found in young men (2.7 mm Hg) and young women (3.8 mm Hg), demonstrating clearly the age-dependency of the oxygen diffusing capacity of the lungs.

### Résumé

Le gradient alvéolo-artériel de pression partielle d'O<sub>2</sub> (AaDO<sub>2</sub>) a été déterminé chez des sujets sains, en position assise (9 jeunes gens et 12 jeunes femmes sportifs âgés de 17 à 26 ans, ainsi que 9 infirmiers, de constitution athlétique, âgés de 45 à 58 ans) au repos, puis pendant un effort intense. Celui-ci a été accompli en normoxie, en hypoxie (16 à 17 % d'O<sub>2</sub>) et en hyperoxie (92 à 95 % d'O<sub>2</sub>). On a calculé la contamination veineuse et la capacité de diffusion de l'O<sub>2</sub> pour les conditions de l'effort. L'AaDO<sub>2</sub> est, chez les sujets jeunes au repos, de 4,5 mm Hg et pour les personnes plus âgées de 23 mm Hg. Lors de l'épreuve d'effort l'AaDO<sub>2</sub> s'élève en normoxie à 9,1 mm Hg chez les jeunes femmes, à 12,4 mm Hg chez les jeunes gens alors qu'il est de 17,8 mm Hg chez les sujets plus âgés; en hypoxie il tombe à 8,2 et 7,3 chez les jeunes pour atteindre au contraire 19,2 chez les sujets âgés; en hyperoxie on obtient des valeurs de 39,5 et 26,7 pour les hommes et les femmes jeunes et de 29,0 pour les personnes plus âgées. La contamination veineuse due aux shunts atteint 0,7 % du débit cardiaque dans les trois groupes, alors que celle rapportée aux troubles de la répartition de la ventilation en représente le 3,5 %, chez les sujets de 50 ans, soit environ le double de la valeur de 2 % mesurée chez les jeunes de 20 ans. La capacité de diffusion de l'O<sub>2</sub> à l'effort est de 120 ml/min chez les jeunes gens sportifs (consommation d'O<sub>2</sub> 2,6 l/min), de 78 ml/min chez les jeunes femmes (consommation d'O<sub>2</sub> 1,8 l/min) et de 52 ml/min (consommation d'O<sub>2</sub> 1,8 l/min), chez les infirmiers. On a mis en évidence chez tous les sujets en hypoxie un gradient d'O<sub>2</sub> entre le sang capillaire quittant l'alvéole et l'air alvéolaire, qui, à 14,7 chez les personnes âgées, était augmenté de façon significative par rapport aux valeurs obtenues chez les jeunes (3,6 pour les femmes et 2,7 pour les hommes). Cette différence est due aux variations en fonction de l'âge de la capacité de diffusion du poumon pour l'O<sub>2</sub> à l'effort.

### Literatur

1. ASMUSSEN, E. and NIELSEN, M.: Alveolo-arterial gas exchange at rest and during work at different O<sub>2</sub> tensions. *Acta physiol. scand.* 50: 153 (1960).
2. ASTRAND, P.O.; CUDDY, E.T.; SALTIN, B. and STENBERG, J.: Cardiac output during submaximal and maximal work. *J. appl. Physiol.* 19: 268 (1964).
3. BARTELS, H.; BEER, R.; KOEPCHEN, H. P.; WENNER, J. und WITT, J.: Messung der alveolo-arteriellen O<sub>2</sub>-Druckdifferenz mit verschiedenen Methoden am Menschen bei Ruhe und Arbeit. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 261: 133 (1955).

4. BILLIET, L.; BAISIER, W. et NAEDTS, J. P.: Effet de la taille, du sexe et de l'âge sur la capacité de diffusion pulmonaire de l'adulte normal. *J. Physiol., Paris* 55: 199 (1963).
5. CLARK, L. R.; WOLF, R.; GRANGES, D. and TAYLOR, Z.: Continuous recording of blood oxygen tensions by polarography. *J. appl. Physiol.* 6: 189 (1953).
6. COHN, J. E.; CARROLL, D.; ARMSTRONG, B. W.; SHEPARD, R. H. and RILEY, R. L.: Maximal diffusing capacity of lung in normal male subjects of different ages. *J. appl. Physiol.* 6: 588 (1954).
7. DONEVAN, R. E.; PALMER, W. H.; VARVIS, C. J. and BATES, D. V.: Influence of age on pulmonary diffusing capacity. *J. appl. Physiol.* 14: 83 (1959).
8. FENN, W. O.; RAHN, H. and OTIS, A. B.: A theoretical study of the composition of the alveolar air at altitude. *Amer. J. Physiol.* 147: 637 (1946).
9. FILLEY, G. F.; GREGOIRE, F. M. and WRIGHT, G. W.: Alveolar and arterial oxygen tensions and the significance of the alveolar-arterial oxygen tension difference in normal man. *J. clin. Invest.* 33: 517 (1954).
10. FLEISCH, A.: Nouvelles méthodes d'études des échanges gazeux et de la fonction pulmonaire (Schwabe, Basel 1954).
11. GALDSTON, M. and WOLLACK, A. C.: Oxygen and carbon dioxide tension of alveolar air and arterial blood in healthy young adults at rest and after exercise. *Amer. J. Physiol.* 151: 276 (1947).
12. HAMER, N. A. J.: The effect of age on the components of the pulmonary diffusing capacity. *Clin. Sci.* 23: 85 (1962).
13. HOFER, P. und SCHERRER, M.: Die Altersabhängigkeit des alveolo-arteriellen  $O_2$ -Partialdruckgradienten in Normoxie, Hypoxie und Hyperoxie. *Med. thorac.* 22: 450 (1965).
14. JOSS, E.: Spiroergometrie bei Gesunden. *Helv. med. Acta* 26: 24 (1959).
15. LEQUIME, J. et DENOLIN, H.: Modifications du débit cardiaque lors de l'effort chez les sujets normaux et chez les patients atteints de cardiopathies diverses. *Cardiologia* 32: 65 (1958).
16. LILIENTHAL, J. L.; RILEY, R. L.; PROEMMEL, D. D. and FRANKE, R. E.: An experimental analysis in man of the oxygen pressure gradient from alveolar air to arterial blood during rest and exercise at sea level and at altitude. *Amer. J. Physiol.* 147: 199 (1947).
17. LUNDIN, G. and ÅKESSON, L.: A new nitrogen meter model. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 6: 250 (1954).
18. MATTHES, K. und HERBERG, D.: Über den Aussagewert des Arbeitsversuches zur Erfassung von Diffusionsstörungen. *Med. thorac.* 19: 171 (1962).
19. MOSTYN, E. M.; HELLE, S.; GLEE, J. B.; BENTIVOGLIO, L. G. and BATES, V. D.: Pulmonary diffusing capacity of athletes. *J. appl. Physiol.* 18: 687 (1963).
20. NEWMANN, F.; SMALLEY, B. F. and THOMSON, M. C.: Effect of exercise, body and lung size on CO diffusion in athletes and nonathletes. *J. appl. Physiol.* 17: 649 (1962).
21. RILEY, R. L.; SHEPARD, R. H.; COHN, J. E.; CARROLL, D. G. and ARMSTRONG, B. W.: Maximal diffusing capacity of lungs. *J. appl. Physiol.* 6: 573 (1954).
22. ROSSIER, P. H.; BÜHLMANN, A. und LUCHSINGER, P.: Bemerkungen über Diffusionsstörungen der Lunge. *Schweiz. med. Wschr.* 84: 25 (1954).
23. SCHERRER, M.: Neues Verfahren zur Stabilisierung des geschlossenen Spirometer-systems. *Helv. med. Acta* 26: 1 (1959).

24. SCHERRER, M.: Störungen des Gasaustausches in der Lunge (Huber, Bern/Stuttgart 1961).
25. SCHERRER, M.: Die Polarographie mit der Clarkschen Platinelektrode, eine einfache Methode zur raschen Bestimmung der  $O_2$ -Spannung im Vollblut. *Cardiologia* 42: 90 (1963).
26. SCHERRER, M.: Mesure de la pression partielle de l'oxygène du sang. Dans: DENOLIN, SADOUL et ORIE «L'exploration fonctionnelle pulmonaire» (Flammarion, Paris 1964).
27. SHEPARD, R. H.; VARANSKAS, E.; MARTIN, H. B.; WHITE, H. A.; PERMUTT, S.; COTES, J. E. and RILEY, R. L.: Relationship between cardiac output and apparent diffusing capacity of the lungs in normal man during treadmill exercise. *J. appl. Physiol.* 13: 205 (1958).
28. STAUB, N. C.: Alveolar-arterial oxygen tension gradient due to diffusion. *J. appl. Physiol.* 18: 673 (1963).
29. SUSKIND, M. R.; BRUCE, A.; McDOWELL, M. E.; YU, P. N. G. and LOVEJOY, F. W.: Normal variations in endtidal air and arterial blood carbondioxid and oxygen tensions during moderate exercise. *J. appl. Physiol.* 3: 282 (1950).
30. TURINO, G. M.; BERGOFSKY, R. M.; GOLDRING, R. M. and FISHMAN, A. P.: Effect of exercise on pulmonary diffusing capacity. *J. appl. Physiol.* 18: 447 (1963).
31. ULMER, W. T. und REICHEL, G.: Untersuchung über die Altersabhängigkeit der alveolären und arteriellen  $O_2$ - und  $CO_2$ -Partialdrucke. *Klin. Wschr.* 41: 1 (1963).
32. WORTH, G.; MUYERS und SIEHOFF, F.: Zur Problematik der Normwerte der arteriellen  $O_2$ - und  $CO_2$ -Partialdrucke sowie der alveolo-arteriellen  $O_2$ - und  $CO_2$ -Druckgradienten im Rahmen arbeitsmedizinischer Fragen. *Med. Thorac.* 20: 223-234 (1963).

Adresse der Autoren: Prof. Dr. M. Scherrer, Leiter des Atmungslaboratoriums und Dr. A. Birchler, Anästhesieabteilung, Inselspital, 3008 Bern (Schweiz)



An dieser Stelle möchte ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. M. SCHERRER, recht herzlich für die tatkräftige Hilfe und sein großes Interesse an dieser Arbeit danken. Außerdem danke ich auch Herrn KYD für seine wertvolle Mitarbeit.

